

Mando a distancia de vehículo terrestre no tripulado

Nicolás D. Dieterle ^a, Carlos R. Rambo ^a, Juan P. Gross ^b, Guillermo A. Fernández ^c

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

^b Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica (GIDE), Instituto de Materiales de Misiones (IMAM), FI, UNaM, CONICET, Oberá, Misiones, Argentina.

^c GIDE, IMAM, FI, UNaM - Juan Manuel de Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina

e-mails: nicodieterle@gmail.com, carlosrambo4@gmail.com, gross@fio.unam.edu.ar,
guillermo.fernandez.fio@gmail.com

Resumen

Este trabajo presenta el desarrollo de un sistema embebido basado en microcontroladores, orientado al control remoto de un vehículo terrestre no tripulado a través de un *joystick*, el cual es impulsado mediante dos motores de corriente continua. La información de control (dirección, sentido y velocidad de avance) es transmitida exclusivamente a través de la línea de alimentación compartida por la unidad de comando y el vehículo, empleando modulación OOK (*on-off keying*) sobre una portadora de 2,6 MHz. El sistema incluye un protocolo serial que utiliza el módulo UART del microcontrolador, con una etapa receptora que posee referencia adaptativa para reconstruir la señal digital con alta fidelidad. Se implementó un prototipo que posee a dos circuitos impresos tipo *shield*, utilizando placas de desarrollo Arduino. Las pruebas experimentales demostraron la correcta transmisión de los datos y un control adecuado de los motores a través de modulación de ancho de pulso bipolar. El sistema desarrollado permite adaptar la velocidad de cada rueda del vehículo en función de la posición del *joystick*, habilitando desplazamientos rectos o giros suaves. Los resultados obtenidos permitieron concretar un prototipo funcional de vehículo no tripulado, caracterizado por su bajo costo y dimensiones reducidas, el cual funciona de acuerdo a los comandos establecidos con el *joystick*, cumpliendo así con el objetivo planteado.

Palabras Clave – Comunicación, control de motores, mando a distancia, vehículo no tripulado.

1 Introducción

Este trabajo ha sido desarrollado como proyecto final integrador de la asignatura Técnicas Digitales 2, correspondiente a la carrera Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional de Misiones. Tiene como objetivo aplicar los conocimientos adquiridos en el cursado a través de la implementación de un sistema electrónico basado en microcontroladores. Atendiendo a esto, el presente artículo propone el desarrollo e implementación de un sistema embebido para el control remoto de un vehículo terrestre no tripulado, propulsado mediante dos motores de corriente continua. La dirección, el sentido y la velocidad del desplazamiento son modificadas a través de un *joystick*, cuya posición de la palanca determina los parámetros de comando del sistema. Una característica distintiva de la propuesta es que la transmisión de estos datos se realiza a través de los conductores de alimentación (V_{CC}), compartidos entre los circuitos de comando (emisor) y del vehículo (receptor), tal como lo ilustra la Fig. 1. Para la comunicación entre estos circuitos indicados, es utilizada la modulación OOK (*on-off keying*) sobre una portadora de 2,6 MHz, controlada mediante el módulo UART del microcontrolador utilizado.

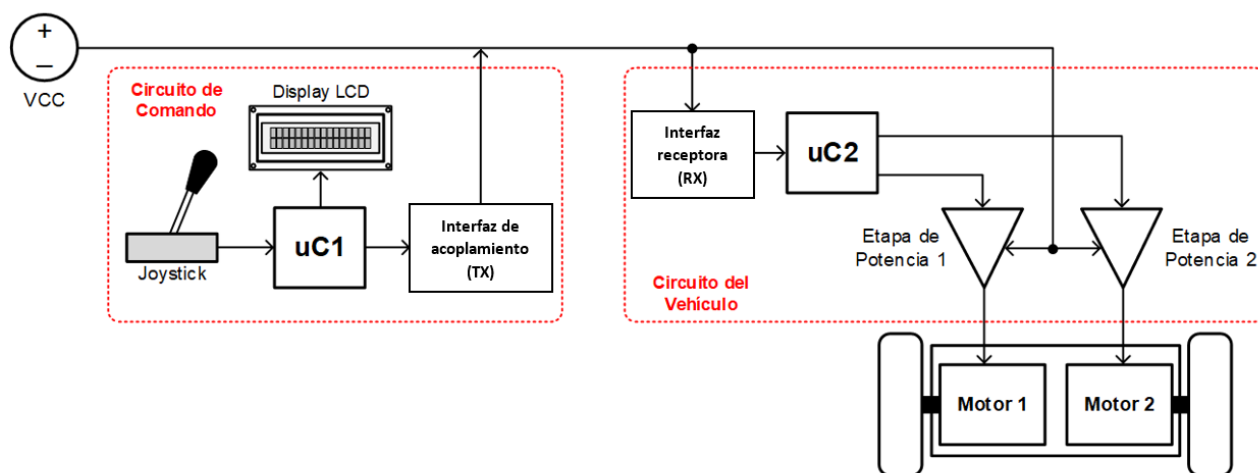


Fig. 1. Diagrama de bloques del sistema de mando a distancia para vehículo terrestre no tripulado.

Como puede apreciarse en la Fig. 1, cada circuito del sistema desarrollado cuenta con un microcontrolador (uC_i) encargado de procesar la información intercambiada entre ambos módulos. El circuito de comando posee una pantalla LCD como parte de la interfaz de usuario, destinada a mostrar información relevante sobre la velocidad y dirección de avance del vehículo en tiempo real. El circuito del vehículo recibe las órdenes del comando y actúa en consecuencia sobre los motores para establecer el movimiento deseado por el usuario del sistema.

Este trabajo está organizado de la siguiente forma: En la sección 2 están explicados los principios de la comunicación de datos para el comando remoto del vehículo, las pruebas iniciales realizadas, el funcionamiento del circuito que maneja los motores y los programas desarrollados para cada microcontrolador utilizado; la sección 3 expresa los resultados obtenidos y ensayos realizados para validar el funcionamiento correcto de la propuesta; finalmente la sección 4 presenta las conclusiones obtenidas con el trabajo.

2 Metodología

2.1 Principio de funcionamiento de la transmisión/recepción de datos

Para permitir la transmisión de datos sobre la línea de alimentación que une al circuito de comando con el circuito del vehículo, se empleó una técnica de modulación por presencia/ausencia de portadora denominada modulación OOK (*on-off keying*). Para esta aplicación se enciende y apaga una señal de alta frecuencia (2,6 MHz), la cual es superpuesta sobre la tensión de corriente continua usada para alimentación del circuito [1]. La Fig. 2 presenta el esquema del circuito utilizado para simular esta transmisión sobre una línea de alimentación idealizada que aplica la tensión de alimentación V₁. En este esquema, los inductores L1 y L2 cumplen una función de filtros de aislamiento para alta frecuencia, impidiendo que la señal de 2,6 MHz se propague hacia la fuente de alimentación (V₁) o hacia las ramas de los motores (Motor1 y Motor2). Esta señal de alta frecuencia es generada en el

circuito de comando, a través del módulo interno de Modulación de Ancho de Pulsos (PWM, por sus siglas en inglés “*Pulse Width Modulation*”) del microcontrolador utilizado. La transmisión de datos es realizada mediante la señal de 2,6 MHz, usada como portadora de alta frecuencia. Esta portadora es activada o desactivada según el bit transmitido por el módulo UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) del microcontrolador, generando así una modulación por presencia/ausencia de portadora que es acoplada a la línea de alimentación (V1). El circuito integrado 74LS125N mostrado en la Fig. 2, actúa como una compuerta tri-estado cuya salida es habilitada únicamente cuando hay un bit UNO para transmitir. En estado inhabilitado, presenta una alta impedancia para no interferir con la línea de alimentación. Como puede apreciarse en el circuito, la salida del 74LS125N es conectada a una rama formada por R8 y C9, que constituye un filtro pasabajos para suavizar los flancos abruptos de la señal cuadrada de alta frecuencia.

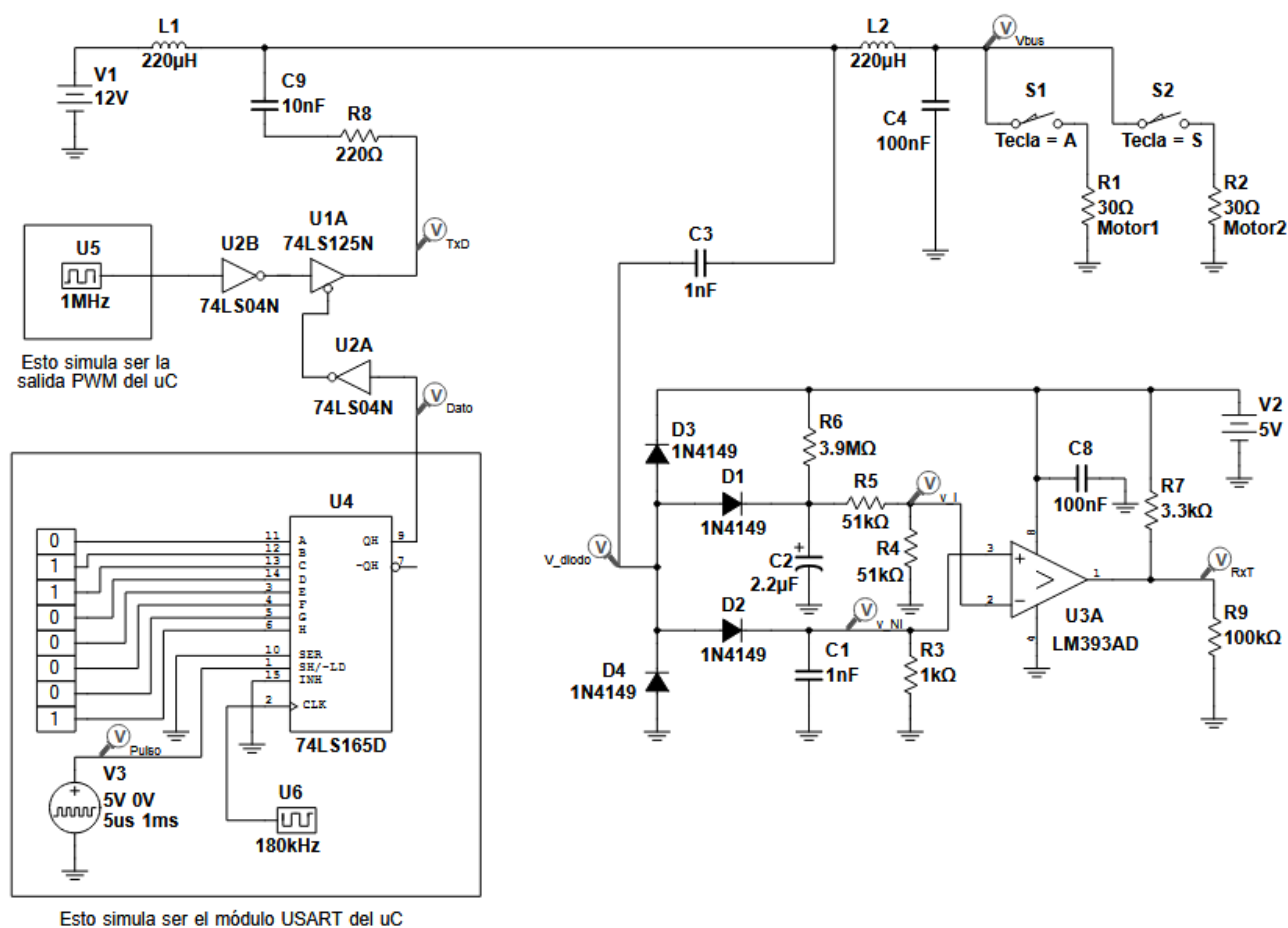


Fig. 2. Esquema de simulación para la modulación OOK.

El capacitor C3 que posee el circuito del vehículo, permite el acoplamiento de la señal de 2,6 MHz, bloqueando la componente de continua del bus y permitiendo que solo esta señal de la portadora

modulada llegue a la etapa de recepción. A continuación, los diodos D3 y D4 implementan un circuito de “clamping”, que limita la amplitud de la señal a niveles seguros, protegiendo al comparador de entrada y eliminando posibles sobrepicos.

Como puede verse en la Fig. 2, el núcleo del receptor en el circuito del vehículo está constituido por un comparador de voltaje LM393 (U3A), que recibe por su entrada inversora (–) una señal de referencia con una constante de tiempo mayor (formado por R4, R5, C2), permitiendo esto seguir lentamente el nivel promedio de la portadora (cuando está presente). Esta referencia se adapta automáticamente en función del nivel de señal recibida. En la entrada no inversora (+) de dicho comparador, con una constante de tiempo pequeña (dada por R3 y C1), reacciona más rápidamente a la presencia o ausencia de la portadora. De esta manera, cuando hay presencia de señal portadora (bit = 1), el detector rápido supera a la referencia y el comparador entrega un nivel alto. Cuando no hay señal portadora (bit = 0), la salida del detector rápido cae por debajo de la referencia, y el comparador cambia su salida a un nivel bajo. El resultado de lo anterior corresponde a una señal digital reconstruida, con niveles lógicos de 5 V, que representa fielmente la secuencia de bits original transmitida por el circuito emisor.

El procesamiento de los datos a transmitir fue realizado con un microcontrolador de 8 bits ATmega2560, a través de una placa de desarrollo Arduino Mega. Mientras que el módulo de comunicación serial UART, genera la trama de datos mostrada en la Fig. 3 [2], que a través de una compuerta 74LS125N modula el acoplamiento de la portadora como se muestra en la Fig. 2.

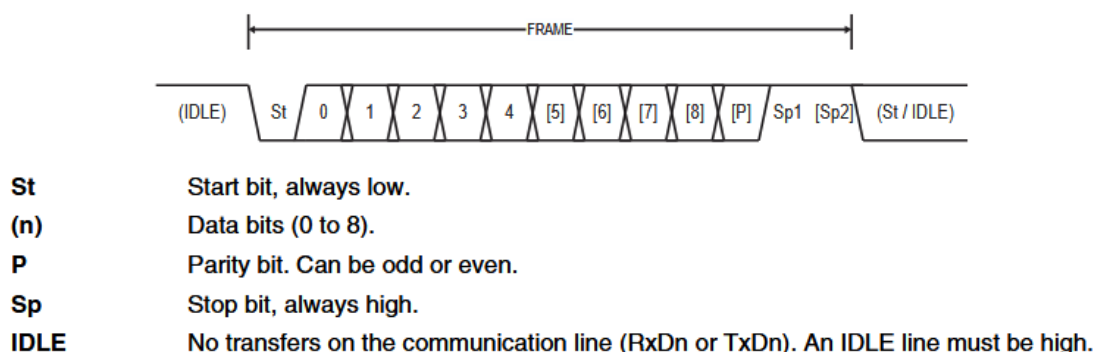


Fig. 3. Formato de la trama de datos que transmite el módulo de comunicación serial UART.

2.2 Pruebas iniciales

Para las pruebas iniciales, se implementaron tanto el emisor como el receptor en dos placas perforadas de prueba, con el objetivo de verificar la correcta comunicación de datos.

Para la recepción de datos, se implementa el circuito basado en el comparador LM393 y los bloques del receptor del esquema mostrado en la Fig. 2.

La Fig. 4 muestra los resultados obtenidos de los ensayos. Las pruebas fueron realizadas utilizando una fuente de alimentación de 12 V, sobre la cual se superpone la señal portadora de alta frecuencia (Fig. 4a). Para comprobar que el mensaje transmitido era correctamente recibido, se envía un valor fijo “1” como mensaje de prueba. Como puede apreciarse en la Fig. 4b, la señal (en rojo) obtenida a la salida del circuito receptor (LM393) es una copia de la señal transmitida (en azul). Esto demuestra que tanto la transmisión como la recepción de datos es correcta.

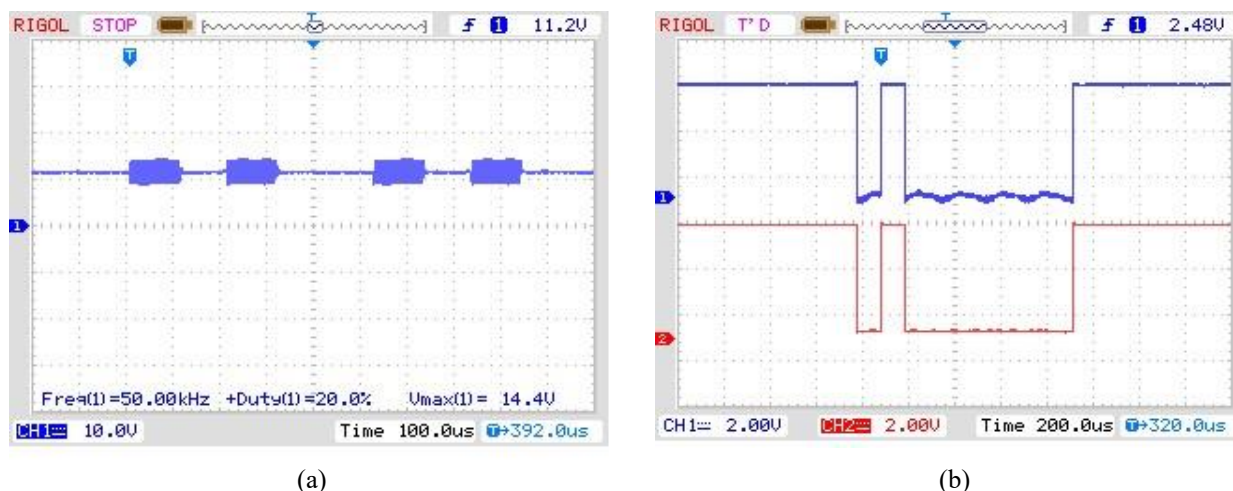


Fig. 4. Pruebas de comunicación: (a) Señal de alta frecuencia montada sobre tensión de alimentación; (b) Señales transmitida (azul) y recibida (rojo).

Para corroborar la interpretación de los datos recibidos, la salida del LM393 fue conectada a la entrada de recepción de datos del módulo UART de un microcontrolador ATmega328p, incluido en la placa de desarrollo Arduino Uno. Con esta conexión y un pequeño programa de prueba se verificó que ante distintos datos enviados por el transmisor (ATmega2560), el receptor (ATmega328p) encendía los LEDs correspondientes conectados a su salida. Con esto pudo verificarse que la transmisión, recepción e interpretación de los datos comunicados era correcta.



Motor Specifications	
Rating (volts)	19
Max (volts)	24
Stall Current (amps)	2.5
Stall Torque (N-cm)	28.7
Stall Torque (in-oz)	40.68
No Load Speed (rpm)	4550
No Load Speed (rad/sec)	476
Max Power (Watts)	34.2
Max Power (milli-HP)	45.83
Duration (sec)	30
Energy (Joules)	1026
Weight (grams)	224
Weight (oz)	7.88
Power/Weight (Watts/kg)	153
Energy/Weight (Joules/kg)	4560
No Load Current (amps)	0.15
Start Up Voltage (volts)	2
Resistance (ohms)	8.2
Motor Const (N-cm/watt ^{0.5})	1.8
Torque Constant (N-cm/amp)	4.8
Inertia (g-cm ²)	45
Shaft Diameter (mm)	3.1
Shaft Diameter (in)	0.12
Shaft Length (mm)	85
Motor Diameter (mm)	37
Motor Length (mm)	64

Fig. 5. Motores utilizados y algunos parámetros característicos.

A partir de las pruebas mencionadas, se procedió a selección de los motores de tracción para el vehículo y los circuitos correspondientes. Fueron utilizados unos motores de impresoras antiguas marca Hewlett Packard modelo C2162-60006, los cuales operan una tensión nominal de 19 V. La Fig. 5 muestra los motores utilizados y sus características técnicas indicadas en la hoja de datos [4].

2.3 Diseño del circuito de accionamiento de los motores.

La interfaz de potencia que permite el accionamiento de los motores, es un puente H diseñado con transistores bipolares del tipo NPN y PNP. La Fig. 6 presenta el circuito mencionado, el sistema propuesto incorpora uno de estos para cada motor.

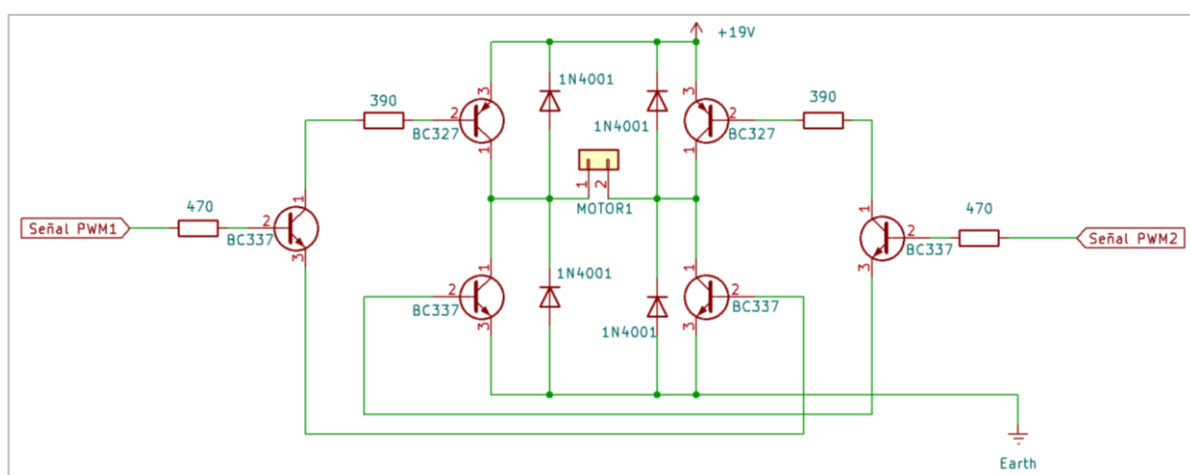


Fig. 6. Circuito para accionamiento de motor de CC (puente H).

Las entradas “Señal PWMi” indicadas en el circuito de la Fig. 6, son conectadas a las salidas del módulo PWM del microcontrolador que posee el circuito de comando. De esta forma, el puente H permite la inversión de marcha y el control de velocidad del motor mediante PWM con modulación bipolar de voltaje. Para este caso la frecuencia de conmutación de los transistores, de acuerdo a la respuesta del motor, fue ajustada a aproximadamente 245 Hz.

Luego de procesar los datos recibidos, el microcontrolador genera señales adecuadas para aplicarse a la base de los transistores de potencia, permitiendo así controlar tanto el sentido de giro como la velocidad de los motores.

2.4 Desarrollo del software y condiciones de giro

El circuito de comando incorpora un *joystick* con el cual el usuario controla la dirección, sentido y velocidad de avance del vehículo. El *joystick* utilizado tiene asociado a su palanca dos potenciómetros, cuyas tensiones analógicas de salida permiten determinar la posición X e Y de la misma. Estas posiciones son leídas en el circuito de comando y transmitidas al circuito del vehículo.

Para efectuar esta comunicación de datos, en el software desarrollado para el microcontrolador ATmega2560 (circuito de comando), se ha definido un protocolo que primero transmite un carácter de identificación (“X” o “Y”), seguido de una palabra de 9 bits que representa la lectura correspondiente a la posición de la palanca del *joystick*, la cual es obtenida del valor proporcionado por el conversor analógico/digital (A/D) del microcontrolador.

La Fig. 5 muestra los diagramas de flujo que representan a los programas desarrollados para los microcontroladores ATmega2560 y ATmega328p, utilizados en la implementación del circuito de comando y el circuito del vehículo respectivamente. La programación fue realizada utilizando el lenguaje C++, mediante el entorno de desarrollo Microchip Studio. El programa obtenido fue cargado a la memoria de los microcontroladores mediante el software AVRDUDESS 2.18.

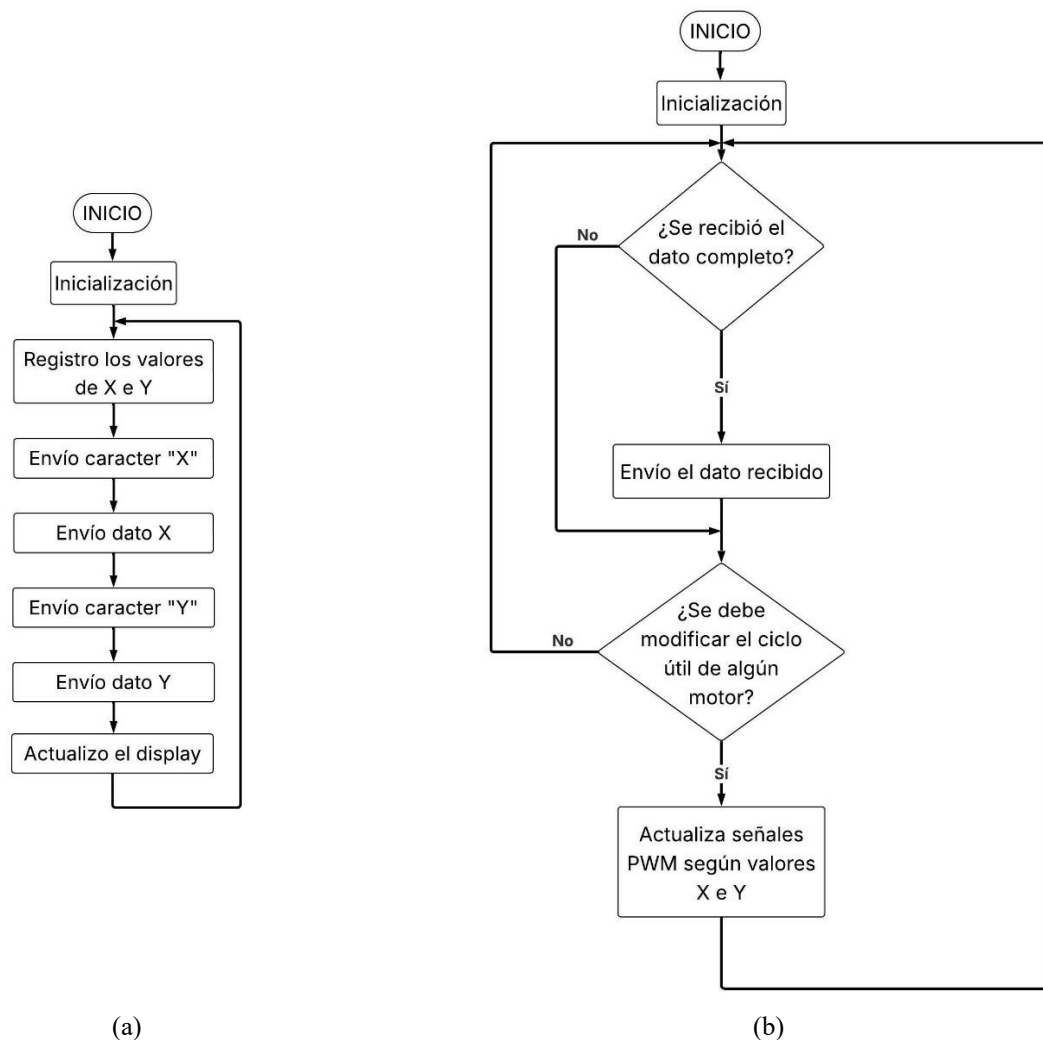


Fig. 5. Diagramas de flujo del programa ejecutado por los microcontroladores en: (a) Circuito de comando (ATmega2560); (b) Circuito del vehículo (ATmega328p).

En relación a la posición de la palanca del *joystick*, se estableció una zona de tolerancia alrededor de punto de posición medio (valores del conversor A/D entre 495 y 524, tanto para posición X como Y) que es interpretada como una posición de reposo (zona neutra). En esta condición, el *display* del circuito de comando no muestra velocidad y el vehículo permanece detenido. Cuando el valor del eje Y es desviado fuera de la posición de reposo, el sistema interpreta un desplazamiento hacia adelante o hacia atrás. De igual manera, si el eje X toma un valor apartado de la zona neutra, es generado un giro hacia la izquierda o la derecha (según corresponda), sin desplazamiento vertical.

Tabla 1 - Velocidad asignada según rango de valores entregado por el conversor A/D del microcontrolador.

Rango de valores del ADC	Nivel de velocidad asignado
0~166	3
167~332	2
333~498	1
499~524	-
525~689	1
690~856	2
857~1023	3

En relación a la velocidad de avance del vehículo, según la posición Y de la palanca del *joystick*, fueron definidos tres niveles de velocidad distintos. Para implementar esto, el rango total de la salida del conversor A/D del microcontrolador que posee el circuito de comando, fue dividido en tres segmentos simétricos por cada dirección. Una leve inclinación del *joystick* corresponde a velocidad baja (nivel 1), mientras que un desplazamiento extremo corresponde a velocidad alta (nivel 3). La Tabla 1 muestra la asignación de niveles de velocidad según el valor del conversor A/D.

Tabla 2 - Mensajes mostrados en el *display* según la posición de la palanca del *joystick*.

Posición	Mensaje mostrado en display
Posición central (inicial)	DIR: N VEL:
Sobre el eje vertical positivo	DIR: ADELANTE VEL: 1/2/3
Sobre el eje vertical negativo	DIR: ATRAS VEL: 1/2/3
Hacia la izquierda	DIR: IZQUIERDA VEL: 1/2/3
Hacia la derecha	DIR: DERECHA VEL: 1/2/3

Por otra parte, durante los giros, el microcontrolador que posee el circuito del vehículo ajusta de manera diferenciada el ciclo útil de la señal PWM aplicada a los motores. De esta forma, la rueda interna (respecto al sentido de giro) reduce su ciclo útil, mientras que la rueda externa conserva el valor asignado por la posición de la palanca del *joystick*. Esto permite maniobras suaves sin necesidad de un control diferencial complejo.

En la Tabla 2 puede observarse los distintos mensajes mostrados en el *display* del circuito de mando, considerando la posición de la palanca del *joystick*.

2.5 Diseño de los circuitos

Una vez verificado el correcto funcionamiento del sistema electrónico propuesto, se procedió al diseño y construcción de las placas correspondientes. Se optó por una topología del tipo *shield*, desarrollándose para las placas Arduino Mega (circuito de comando) y Arduino Uno (circuito del vehículo) un circuito impreso a medida que puede montarse mediante los pines de conexión que poseen estas placas de desarrollo. Esto permite reducir considerablemente el espacio físico para la implementación final del sistema. Los circuitos impresos (PCBs) fueron diseñados con el software libre KiCad 9.0. Las Fig. 8, 9 y 10 muestran los circuitos de los PCBs construidos.

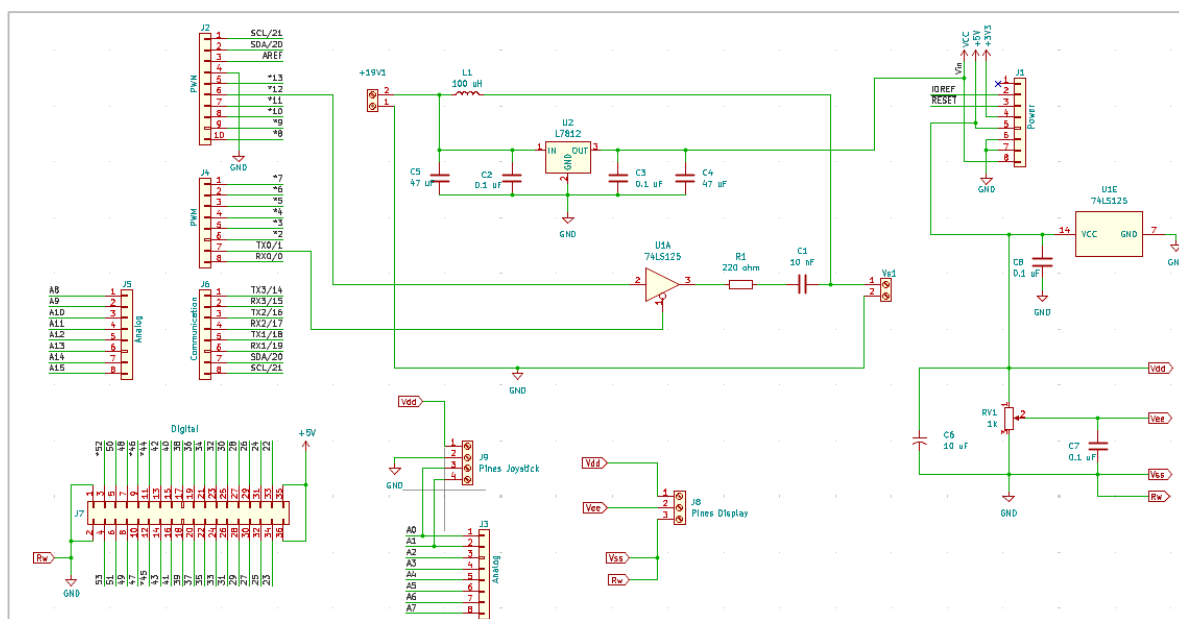


Fig. 8. Circuito del *shield* utilizado en la placa Arduino Mega (circuito de comando).

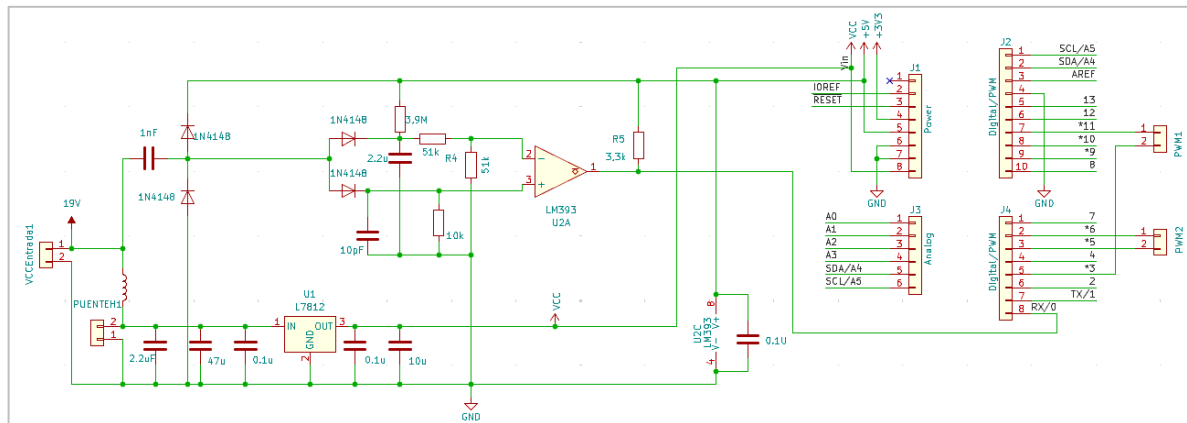


Fig. 9. Circuito del *shield* utilizado en la placa Arduino Uno (circuito del vehículo).

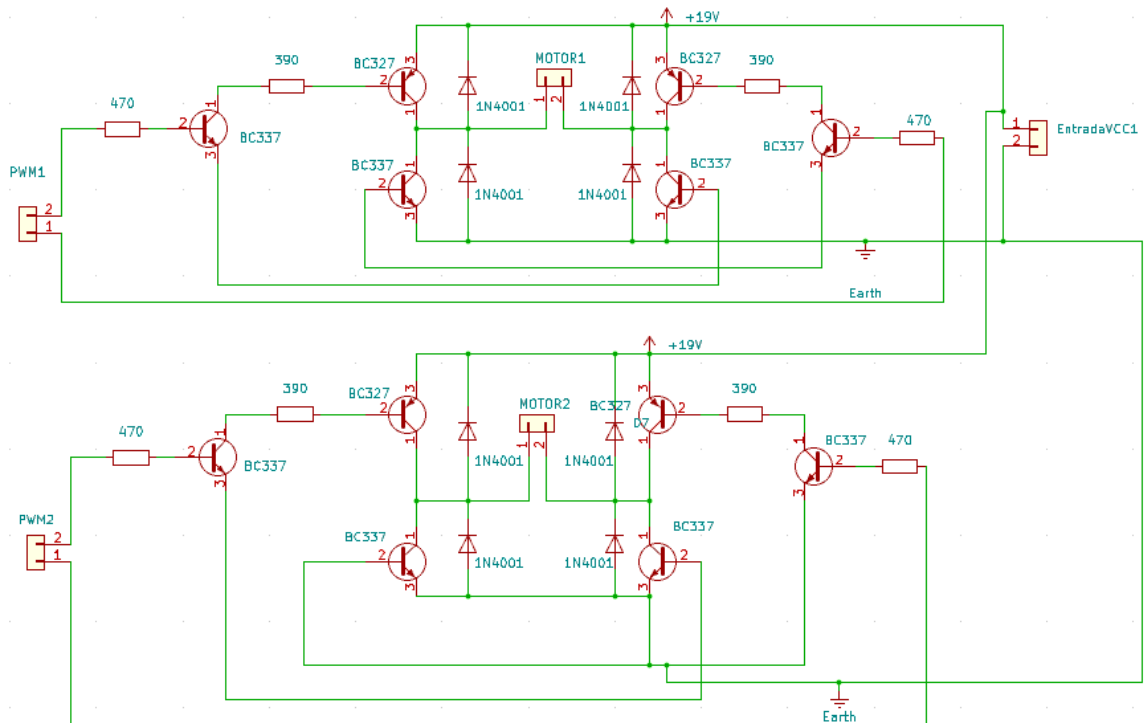


Fig. 10. Circuito de los puentes H que accionan a cada motor del vehículo.

Considerando que la tensión máxima de alimentación para las placas Arduino es de 20 V, en ambos *shield* es utilizado un regulador de voltaje L7812CV que entrega 12 V a estas placas, a partir de los 19 V requeridos por los motores como voltaje de alimentación. La tensión regulada 12 V es aplicada a la entrada V_{in} [3] en cada placa Arduino, desde el cual el propio regulador interno genera los 5 V para energizar otras partes del circuito (como el *display* LCD que posee el circuito de comando).

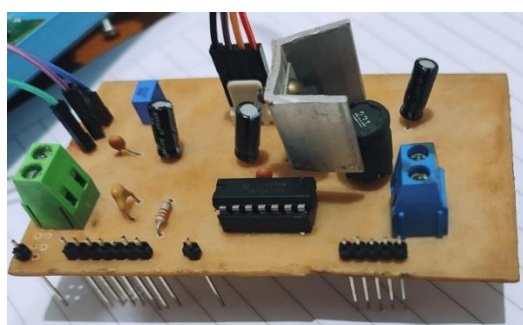
Cabe mencionar que el circuito de la Fig. 10 fue implementado en un PCB que es conectado mediante cables a las salidas PWM1 y PWM2 del circuito indicado en la Fig. 9.

3 Resultados

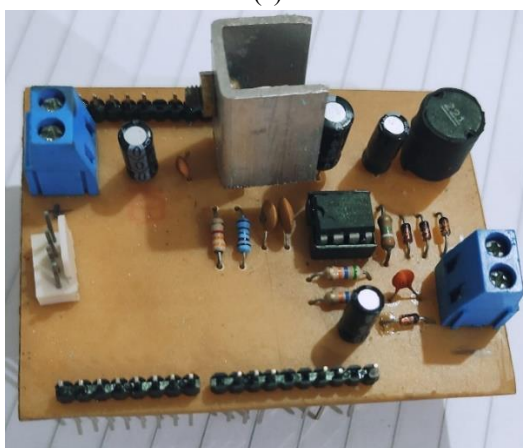
La Fig. 11 muestra las placas desarrolladas para el circuito de comando, el circuito del vehículo y la etapa de potencia a través de la cual es manejado cada motor.

Antes del ensamblado completo del sistema, se realizaron ensayos funcionales sobre la placa transmisora con el objetivo de validar el comportamiento de la generación de señales PWM en función de una entrada analógica variable. Para esto, se reemplazó momentáneamente el *joystick* por un potenciómetro conectado a la entrada del conversor analógico-digital del microcontrolador.

Al variar el potenciómetro, las señales PWM observadas en el osciloscopio son las que se aplicaron posteriormente a los motores del vehículo. Con esto fue confirmando que ambas salidas PWM presentaban ciclos útiles diferenciados, acordes al valor de las entradas analógicas.



(a)



(b)



(c)

Fig. 11. Placas de circuito impreso desarrolladas: (a) *Shield* para el Arduino Mega (circuito de comando); (b) *Shield* para el Arduino Uno (circuito del vehículo); (c) Puentes H.

La Fig. 12 muestra los resultados obtenidos tras el ensamblado de los circuitos impresos construidos. En la Fig. 12a puede observarse el comando remoto que integra el *joystick*, el *display*, el *shield* y la placa Arduino Mega. En la Fig. 12b se aprecia el vehículo y sus tres ruedas, dos de ellas para la tracción y la otra de rodamiento libre. La Fig. 12c muestra el interior del vehículo donde puede apreciarse el conexionado de las placas. En cuanto a las dimensiones, la placa transmisora mide aproximadamente 10×6 cm, la receptora $7,5 \times 6$ cm y la placa de los puentes H tiene 10×7 cm.

Como mejora mecánica, además de las ruedas de tracción, el vehículo incorpora una rueda con rodamiento libre que facilita las maniobras de giro durante el desplazamiento.

Una vez ensamblado el sistema, se verificó el control de avance y retroceso, retirando las ruedas del vehículo para observar de forma clara el sentido de rotación de cada motor. Luego, se probaron distintas posiciones de la palanca del *joystick*, comprobando visualmente que las variaciones de velocidad eran acordes a los niveles definidos por software.

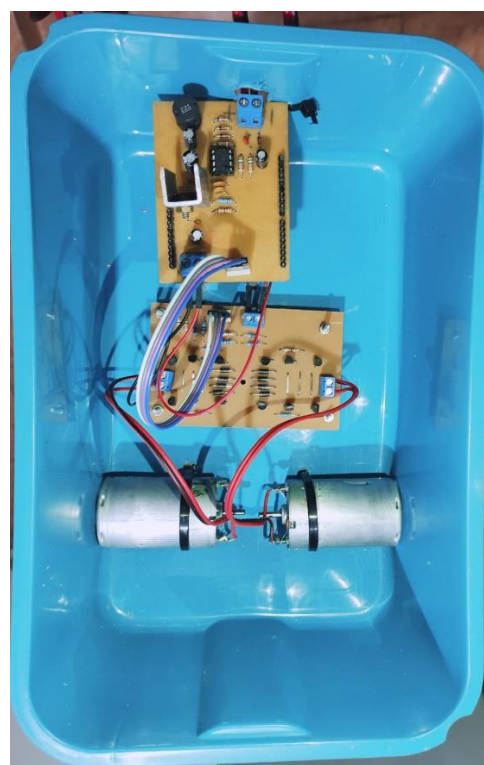
A continuación, se montaron nuevamente las ruedas y se realizaron pruebas de giro, observando que el vehículo respondía de manera correcta, adecuando el ciclo útil de la rueda interna, tal como estaba previsto.



(a)



(b)



(c)

Fig. 12. Resultados finales: (a) Comando remoto; (b) Vehículo no tripulado; (c) Interior del vehículo.

Respecto a las dimensiones del conjunto, el mando alcanza aproximadamente $12 \times 8 \times 5$ cm (largo, ancho y alto). Por su parte, el vehículo ensamblado, con las placas y motores integrados en la carcasa, tiene dimensiones de $20 \times 15 \times 10$ cm.

Finalmente, a modo complementario se adjunta un breve video que documenta el funcionamiento del sistema durante una prueba real, para las distintas condiciones de giro. A través del siguiente enlace se puede acceder al mismo:

<https://youtu.be/dLlcBLUzs2g>

4 Conclusiones

El desarrollo de este trabajo permitió integrar los conocimientos adquiridos durante la cursada de la asignatura Técnicas Digitales 2, tales como el uso de conversores analógico-digitales, el control por modulación de ancho de pulso (PWM), y manejo de interfaces de usuario mediante un *display* LCD. Asimismo, se incorporó el estudio de la programación del módulo UART de los microcontroladores utilizados, y la implementación de la comunicación serie efectiva a través de la línea de alimentación.

Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad técnica de un sistema de control remoto para vehículos terrestres no tripulados utilizando modulación por presencia/ausencia de portadora sobre la línea de alimentación. Esto permite prescindir de cables de comunicación dedicados, manteniendo únicamente el cable de alimentación compartido, simplificando la arquitectura del sistema. La implementación en placas reales, tanto en *protoboard* como en el PCB, junto con el desarrollo de software específico en las placas Arduino, permitió validar el funcionamiento integral del sistema, incluyendo la transmisión de datos, su correcta recepción y el control de los motores en función de la posición de la palanca del *joystick*. El uso de un protocolo de comunicación serie simple y el diseño modular favorece la reutilización de la arquitectura de hardware y software desarrolladas para adaptarlas a vehículos con prestaciones similares, con ajustes menores en los parámetros de control. Como propuestas de mejora se plantea la incorporación de técnicas de codificación para robustecer la comunicación ante interferencias, realizar el envío repetitivo de datos para validar la correcta recepción, así como la implementación de nuevas funciones que puedan asociarse al pulsador propio del *joystick* e integrar un mecanismo que permita desenrollar y recoger el cable a medida que el vehículo se desplaza.

5 Referencias

- [1] J. Truchsess, "Simple Circuit Communicates Over Low-Voltage Power Lines" 15 abril 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.electronicdesign.com/technologies/communications/article/21799727/simple-circuit-communicates-over-low-voltage-power-lines>. [Accedido: 14-08-2025].

- [2] Atmel, “Hoja de datos: ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V” 2025. [En línea]. Disponible en: https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-2549-8-bit-avr-microcontroller-atmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf. [Accedido: 14-08-2025].
- [3] ATMega, “Esquema eléctrico Arduino Mega 2560” [En línea]. Disponible en: https://easyeda.com/modules/Arduino-Mega-2560-schematic_501da53ef6cc40ee8a2f18258bdecd3e. [Accedido: 14-08-2025].
- [4] HP/Mabuchi, “DC/PM Brush C2162-60006 DN505728”. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/344986319/Motor-C>. [Accedido: 14-08-2025].